HPSG を用いたユークリッド『原論』の解析

中嶋 健一郎[†] 斎 藤 憲^{††} 東 条 敏^{†††}

本研究では古典ギリシア語で書かれたユークリッドの『原論』を主辞駆動型句構造文法 (HPSG) により構文解析することを目的とする。単一化をベースにした文法を用いる理由は、古典ギリシア語が語順よりも性・数・格の素性の一致によってより強く文構造が決定されるためである。文法を記述するにあたっては他の言語と同様な基本的な文法規則に加えて、古典ギリシア語特有の文法規則、すなわち素性の一致によって推測される省略語や係り受け交差に対処する規則を追加した。構文解析システムは LiLFeS を用い、それにより、ユークリッドの『原論』7 巻・8 巻 1154 文に対して約 79% のカヴァレッジを得ることができた。

キーワード: 古典ギリシア語, 主辞駆動型句構造文法, ユークリッド, 原論

Analysis of *The Elements* by HPSG

KEN'ICHIRO NAKAJIMA[†], KEN SAITO^{††} and SATOSHI TOJO^{†††}

In this paper, we will analyse *The Elements* of Euclid by Head-driven phrase structure grammar (HPSG). In ancient Greek sentences, the word orders are rather free and instead phrase structures strongly depend upon the agreement of features; this is the reason why we adopt a unification-based grammar. In addition to ordinary grammar rules, we add several rules which concerns ellipsis and crossed-dependency. We show that the grammar could cover about 79% for 1154 sentences of *The Elements*.

KeyWords: *Ancient Greek, Euclid, The Elements, Head-driven Phrase Structure Grammar*

1 はじめに

『原論』は数学の基本定理をまとめた古代ギリシアの著作であり、今日現存するものは前 300 年頃にユークリッドによって編纂された。しかしそのテキストは書写・編集を重ねて伝えられた 9 世紀以降の複数の中世写本に基づき、著者に遡る真正な内容と、後世に編集・付加された内容の区別が最近大きな課題となっている (Knorr 1996; Rommevaux, Djebbar, and Vitrac 2001; Acerbi 2003)。

本研究の目的は『原論』の文に木構造を付与することにある。この試みの背後には、以下の期待がある。第一に木構造自体による検索が可能であれば、文の表層に現れる単語の出現頻度

[†] 東芝情報システム株式会社, Toshiba Information Systems (Japan) Corporation

^{††} 大阪府立大学総合科学部人間科学科, Department of Human Sciences, College of Integrated Arts and Sciences, Osaka Prefecture University

^{†††} 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科, School of Information Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

や共起関係のみならず、上述の内容の分析において有力な補助手段となりうる (斎藤 1997)。第二に、木構造と対応した構成的な意味表現 (すなわち各部分木に対応した部分論理式から構成される形式的意味表現) を付与することで、文中で主眼となっている数学的概念がより明らかな形で表現できる可能性がある。

古典ギリシア語は、性・数・格の一致によって文構造が定まり、その結果語順に関する制約が緩くなっているという特徴がある。本研究においてはこのような素性の一致を効率よく扱うために、ユニフィケーションを駆動原理にした文法を用いる。中でも主辞駆動型句構造文法 (Head-driven Phrase Structure Grammar (Pollard and Sag 1994; Sag and Wasow 1999); 以下 HPSG) は高速な処理システム (Makino, Torisawa, and Tsujii 1998) が利用可能であるため、この文法を用いることとする。

2 古典ギリシア語の特徴

古典ギリシア語とは、今日古典の文語として読むことのできるギリシア語である。時代や方言によるかなりの差異はあるが、とくに前五・四世紀のアテネでのアッティカ方言が古典ギリシア語を代表するものとされ、現代の学習者が最初に学ぶものとなっている。以下、このアッティカ方言の文法、単語の意味・用法 (Crane; Liddel and Scott 1959; 田中, 松平 1951; 水谷 1990) に関していくつかの特徴を説明する。なお、古典ギリシア語は現代ギリシア語 (荒木 1990; 北野) と、性や格・動詞の法・音韻など広い範囲にわたって大きな相違がある。

アルファベットは大文字小文字それぞれ 24 文字である。最下行に音価を示す。

Α	Β	Γ	Δ	Ε	Ζ	Η	Θ	Ι	Κ	Λ	Μ	Ν	Ξ	Ο	Π	Ρ	Σ	Τ	Υ	Φ	Χ	Ψ	Ω
α	β	γ	δ	ε	ζ	η	θ	ι	κ	λ	μ	ν	ξ	ο	π	ρ	σ	τ	υ	φ	χ	ψ	ω
a	b	g	d	e	z	ē	th	i	k	l	m	n	x	o	p	rh	s	t	y	ph	kh	ps	ō

語の発音は原則的に各文字の音価をそのまま連続させればよい。ただしアクセントと氣息¹に関する規則がある²。

古典ギリシア語の単語は、変化詞 (declinable) と呼ばれる活用するものと、不変化詞 (indeclinable) と呼ばれる活用しないものに分類することができる。不変化詞は接続詞、否定詞、前置詞、小辞などを含み、それ以外のものを変化詞と呼んでいる。変化詞は更に動詞のように人称変化するものとそれ以外の格変化するものに分類することができる³。また、動詞は分詞化することで格変化をするようになる。これらの変化は必ずしも全ての活用形が存在するとは限らない。また、活用形には不規則変化も存在する。

語の順序を規制する文法規則は概して少ない。例えば、通常補語に先行すると考えられる前

1 ギリシア語には 'h' に相当する字母がないため、母音に記号を付して有気音とすること。

2 本論文においては、図中のギリシア語は構文を明示することを目的とし、アクセント記号と氣息記号は省略する。

3 これらの分類は次節で型階層 (図 2) に反映される。

置詞であってもその語順は固定されたものではなく、順序が逆転することがある。これは、格変化によって係り受けが定まるためであり、主語や補語を同定するのにも語順の必要性は薄い。またこの語順の自由さにより、話者の注目するものを先へ先へと持ってくるという性質がある。この現象は動詞の位置について顕著である。古典ギリシア語は印欧語系に分類され SOV 型言語である。しかし、その時点における話題の中でより重要なものが存在する場合、先行すべき主語や補語が動詞の後ろに繰り下がってしまうことがある。また、動詞そのものが話者の焦点となっている場合、動詞が先行し、主語や補語はそれに続く形で表されることがある。そのみならず、通常の形で SOV と続いた後、動詞の後に主語や補語を修飾する語が続く場合も往々にして存在する。

古典ギリシア語では、その時に話題になっているものや直前に会話に出現したものなど自明であるとされるものは省略されることがある。ここでいう自明なものとは主語、動詞のほかにもさまざまな要素が含まれる。以下に原文の例 (第 7 巻命題 2) と、逐語毎の英単語への置換を示す。

μετρεῖτω, καὶ ἔστω ὁ Ζ

これは英訳された文献 (Sir Heath, T. L. 1925) を参考に、この文で省略されている語を補うと、

“Let such a number measure them, and let it be Z.”

という文になる。この文の主語は直前の文と同一であり、本来この文は直前の文の追加的な説明をしているため省略が起きているが、この文単独では省略された情報を知ることはできない。このような現象は主語だけでなく他の要素にも同様に起こりうる。

3 プリンシプルとスキーマ

本節では古典ギリシア語の基本的な文法を設計する。現代ギリシア語の HPSG には Kolliakou の研究 (Kolliakou 1998) があるが、本研究ではそれを参考に、素性一致に強く依存する文構造に対応した規則に発展させた (仙田, 斎藤, 東条 2002; 中嶋, 斎藤, 東条 2003)。

3.1 プリンシプル

HPSG におけるプリンシプル (principle) とは文内の素性構造間での情報の授受・共有関係を制約する規則である。本研究では本構造の中の親と子の間で、単一化によってどのような素性の値を引き継ぐかという規則を以下のように定義する。以下本論文では、素性名には大文字を用いる。

Head feature principle 主辞側の子が持つ HEAD 素性を親に伝える。

Valence principle 主辞側の子が持つ VALENCE 素性⁴の値を親に伝える．この principle に限り，部分的に適用されることがある．

Phonology principle 子の PHONOLOGY 素性を合わせたものが親の PHONOLOGY 素性として伝える．

Gap principle それぞれの子の持つ SLASH 素性⁵の値を合わせて親の SLASH 素性の値とする．

Particle principle もし子が小辞 (particle) を含むならば，それを親に伝える．

上記のうち，Particle principle だけは本研究で独自に導入するものであるが，他は HPSG で仮定されている形式化を適用したものである．

3.2 基本的なスキーマ

HPSG におけるスキーマ (schema) とは一般の句構造文法でいう書き換え規則に相当する．すなわち，単一化 (unification) によってどのような語と語からから句を作り出せるかという規則を定義するものである．以下に本研究で用いるスキーマを説明する．

Head complement schema 語が補語を取り句を形成することができることを規定するスキーマである．HPSG では (1) のような形で記述される．素性構造中，斜字体は型を表現する．

$$\left[\begin{array}{l} \textit{phrase} \\ \text{COMPS} \langle \rangle \end{array} \right] \rightarrow \text{H} \left[\begin{array}{l} \textit{word} \\ \text{COMPS} \langle \textit{1} \rangle \end{array} \right] \boxed{1} \quad (1)$$

ここで COMPS (complements) は補語素性である．このスキーマは前置詞や動詞が補語を取る場合，形容詞が補語を取る場合などに用いられる．前置詞や一部の形容詞は基本的に右に補語を後置するが，動詞においては語順の自由さのために，補語が左になったり右になったり不規則になる．この方向を問わないようにする必要から，実装上 (1) の $\boxed{1}$ の素性構造を主辞の左右に配する二つのスキーマを用意する．

Head subject schema 動詞を主辞とする句が主語を取ることを規定するスキーマである．古典ギリシア語では必ずしも補語の方が，より動詞の近くにあるという訳ではなく，主語が補語と動詞の間に入っているという形の文がしばしば存在するため，同様に主語と動詞句の位置

4 ‘valence’ は化学の原子価という意味であるが，ここでは補語など結合を必須とする語の素性名とする．(Sag and Wasow 1999) では VALENCE 素性は結合を必須とする語彙の素性であり，随意的である修飾語 (modifier) と厳密に区別された．しかし古典ギリシア語では必須項でも省略が大変多く，随意項との処理の差別化を考えるよりも結合可能性を持つ語の素性とまとめたほうが記述上・実装上得策であるため，本研究では VALENCE 素性を拡大解釈し，修飾語も含めることとする．

5 制約による文法理論の伝統で，欠損している語・カテゴリーは斜線をともなって記述されるため，このように呼称される．

6 補語は文法書によっては「目的語」という言い方もするが，言語学一般の範疇として本稿では「補語」に統一する．

を交換する二つのスキーマを用意する.

$$\left[\begin{array}{cc} \text{phrase} & \\ \text{SUBJ} & \langle \rangle \end{array} \right] \rightarrow \boxed{1} [\quad] H \left[\begin{array}{cc} \text{word} & \\ \text{SUBJ} & \boxed{1} \end{array} \right] \quad (2)$$

Head modifier schema この規則は句が特定の句を修飾することを定義するスキーマである. VALENCE 素性の中の MOD (modifier) 素性と被修飾句の HEAD 素性が単一化できるならば, 修飾関係を作ることができるという規則である. このスキーマによって修飾関係を作る例を図 1 (第 8 巻命題 24) ⁷ に示す. この図では数詞 δύο (two) が名詞 ἀριθμοί (numbers) を, πρὸς (to) によって率いられる前置詞句が名詞 λόγον (proportion) をそれぞれ修飾している⁸.

同様に, 分詞や形容詞が性・数・格の一致によって名詞に係ることや, 副詞及び, 接続詞によって導かれた文が動詞などに係ることもこのスキーマで扱われる. これらの修飾語句の係り方には 2 種類, 述語的位置と属性的位置がある. 属性的位置の場合には, οἱ ἐλάχιστοι ἀριθμοί (the smallest number) のように冠詞と名詞の間に修飾語が置かれる. この時は, 被修飾語の SPR (specifier) 素性は飽和していない. 述語的位置の場合, οἱ ἀριθμοὶ ἐλάχιστοι (the number smallest) または, ἐλάχιστοι οἱ ἀριθμοί (smallest the number) のように冠詞と名詞の組合せの外に修飾語が置かれる. この時には, 被修飾語の SPR 素性は飽和している. ここで, 冠詞は必ずしも出現する必要はないため SPR 素性の飽和・非飽和に関しては問わないこととするが, しかし修飾語は修飾するときには自身は完結している必要がある. そのため, このスキーマは (3) のようになる.

$$\left[\begin{array}{cc} \text{phrase} & \\ \text{COMPS} & \langle \rangle \\ \text{MODS} & \langle \rangle \end{array} \right] \rightarrow \boxed{1} [\quad] H \left[\begin{array}{cc} \text{word} & \\ \text{COMPS} & \langle \rangle \\ \text{MODS} & \boxed{1} \end{array} \right] \quad (3)$$

Head specifier schema 通常, 定冠詞は特定されるものとの間に性・数・格の一致を持つ. Creider らの研究 (Creider and Hudson forthcoming) では, 冠詞が名詞などを支配するとしているが, 英語文法などでは名詞側に主辞があるとしている. どちらの方法でも長短があるが, 本研究では冠詞側ではなく主辞は名詞側であるとした. これは, 『原論』を含むギリシア数学文献において現れる「冠詞＋文字の名前」⁹ という形で数学的概念を表現する構文を処理する都合による. これらは DP (determiner phrase) を作るのではなく直接名詞句を形成すると考えら

⁷ この文は最後の動詞 ἔχουσιν (have) が接続法になっており, ἐάν (if) に続く節である. したがって正確には木のトップノードは文 S ではなく, 節である.

⁸ 英訳 (Sir Heath, T. L. 1925) では, πρὸς (to) によって率いられる前置詞句は ἔχουσιν (have) に係る連用修飾句となっている. しかしながら数学的意味は変わらないため, 文法規則を複雑化しない意義を鑑みて, 本研究ではこの構文木を許容することとする.

⁹ 幾何学では, 「女性冠詞＋2 文字」＝直線, 「中性冠詞＋1 文字」＝点, 「女性冠詞＋ὕψος (前置詞)＋3 文字」＝角, 「中性冠詞＋ὕψος＋2 文字, 2 文字」＝長方形などの用例が現れる. それぞれ「直線」「点」「囲まれる角」「囲まれる長方形」などの語句が本来後に続くが, ほとんどの場合に省略される. (なお後二つの例で前置詞 ὕψος は受身の動作主を表わす.)

図 1 形容詞が名詞を修飾する例

れ，とりあえず DP と NP を区分するなど文法を複雑にしかねない要素は割愛して，名詞を主辞とする方針をとることにした。

名詞や形容詞は，以下のような素性構造を持つ。

$$\left[\begin{array}{l} \text{HEAD} \\ \text{SPR} \end{array} \left[\begin{array}{l} \text{decl} \\ \text{GENDER} \\ \text{NUM} \\ \text{CASE} \end{array} \left[\begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \right] \right] \right]$$

SPR 素性にはそれぞれ性 (gender)・数 (num)・格 (case) を持つ。ここで *decl* は語彙の型階層 (図 2) 上，変化詞 (declinable) の素性を持つことを示す。冠詞と *decl* 型の語は，(4) の Head specifier schema を適用することで句を形成することができる。

$$\left[\begin{array}{l} \text{phrase} \\ \text{SPR} \end{array} \langle \rangle \right] \rightarrow \left[1 \right] \left[\begin{array}{l} \text{H} \\ \text{SPR} \end{array} \left[\begin{array}{l} \text{decl} \\ \text{SPR} \end{array} \langle 1 \rangle \right] \right] \quad (4)$$

本節のスキーマは HPSG で提案されている基本的なスキーマに対して古典ギリシア語の処理のために拡張を施したものである。しかしながら第 2 節に論じた古典ギリシア特有の特徴によりこのままでは不十分である。これに対処するため，次節においては本研究がさらに独自に導入したスキーマについて述べることにする。

図 2 decl を含む型階層

4 省略と係り受け交差に関する処理

第 2 節に論じた古典ギリシア語の特徴から、その解析を困難にするのは主に性・数・格の一致に依拠した一部語彙の (i) 省略および (ii) 係り受け関係の交差であると考えられる。本節では、個々の言語現象を観察しながらこれらの問題への対処を議論する。

4.1 冠詞の機能に関する処理

古典ギリシア語の冠詞はしばしば単独で他の品詞の機能を受け持つことができる。その特性を分析した結果を以下に示す。

名詞化 古典ギリシア語の冠詞は、冠詞+形容詞といった形だけではなく、冠詞+句、冠詞+副詞といった形でさまざまなものを名詞化することができる。しかしながら、格変化を伴うものに付くならば、性・数・格の一致によって対応するものがわかるが、無条件でさまざまなものを下位範疇化できるようにしてしまうと、対応先が不明となってしまう。本研究では、『原論』の中に出現する割合が最も高い、格変化するものという型階層である *decl* のみが冠詞を取ることができるとした。図 3 (第 7 巻定義 6) の文においては、*διαιρούμενος* (divided) は分詞であり、動詞としての性質を持つ。よって、副詞である *δίχα* (in two) によって修飾される。更に、形容詞としての性質も持つことから、冠詞を伴うことによって名詞となることができる。この名詞に対応する冠詞は性・数・格の一致から *ὁ* (the) であることがわかる。このように、*decl* に分類される語は SPR 素性の性・数・格と一致する冠詞を取ることによって、Head specifier schema (4) によって名詞化される。名詞などが Head specifier schema で冠詞を取る場合は、指定部の語の飽和・不飽和に依存しない処理を行うこととする。

図 3 冠詞による名詞化

指示代名詞的な役割 また、古典ギリシア語は冠詞の意味として指示代名詞としての働きを強く残している。次の文 (第 7 卷命題 2) で見ると、

λειφθήσεται τις ἀριθμός, ὃς μετρήσει τὸν πρὸ ἑαυτοῦ

therefore some number will be left which will measure the one before itself

この中の冠詞 τὸν の後には前置詞句 πρὸ ἑαυτοῦ (before itself) があるのみで冠詞に対応する名詞がない。

性と数の一致 (格はそれぞれの文中の働きによるため同じではない), および文脈 (いわゆるユークリッド互除法の手続きを行なっている) から, 男性単数対格の冠詞 τὸν に対応するのは, 関係節の先行詞と同じ男性名詞 ἀριθμός (number) であることがわかる。そのため, 冠詞単独では指示対象が不明瞭であっても, 文中では意味が明らかになる。このような現象は名詞の省略とも考えられるが, 一方で冠詞が指示代名詞としての機能を持つと考えることもできる。本研究では型階層における記述量を削減し処理の効率化を図るため, 冠詞は名詞の素性を受け継ぐものとして定義する。

4.2 不定代名詞の用法

不定代名詞にはそのまま代名詞的に使われる場合と, 形容詞的に使われる場合がある。代名詞的に使われた場合には「ある人」「ある物」という意味になり, 前後と性・数・格の一致を持たない。しかし, 形容詞的に使われた場合,

図 4 後方からの修飾

τοὺς Δ, Γ ἀριθμοὺς ἄρα ἀριθμός τις μετρήσει

therefore some number will measure the numbers D, G (第 7 卷命題 3)

という記述を例に考えることにすると, これは ἀριθμός (number) が τις (some) によって修飾されており, 両者の間に性・数・格の一致が起こっている. したがって τις の辞書記述にはその MOD 素性の値と性・数・格の一致を持つものを修飾するという記述が必要になる. よって, 不定代名詞は名詞であるにも関わらず修飾語としての素性を持ち, 以下のように記述される.

4.3 後置

一般に自然言語では係り受け関係の交差はまれであるが, 古典ギリシア語は動詞の後方に既出の句に関する補足の句が出現することがあり, しばしば依存交差が起こる. 例として, 図 4 (第 7 卷命題 4) のような係り受けが見られる. このような事態を解決するためには SLASH 素性の処理が必要である. Head complement schema 及び Head subject schema では VAL 素性が埋められた後, 埋めた語の HEAD 素性を主辞の VAL/DEPENDENT 素性内に保持する. こ

の素性内に保持された主辞と、その後ろから係ってくる語との間で同格関係や修飾被修飾関係を持つ。このための **Post-adjective schema** を (5) のように定義する。

$$\left[\begin{array}{cc} \text{DEPENDENT} & \langle 2 \rangle \end{array} \right] \rightarrow H \left[\begin{array}{cc} \text{HEAD} & \text{verb} \\ \text{DEPENDENT} & \langle 1, 2 \rangle \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \text{HEAD} \langle 1 \rangle \\ \text{VAL} \left[\begin{array}{cc} \text{SUBJ} & \langle \rangle \\ \text{COMPS} & \langle \rangle \end{array} \right] \end{array} \right] \quad (5)$$

4.4 省略

古典ギリシア語では、基本的な規則の一つに文脈から明らかなものは省略してもよいというものがある。ここでは主語と動詞の省略に関する規則を考察する。

主語の省略 主語は文脈から明らかになる確率が非常に高い要素である。前文と同一であるときや、話題が明らかであるときしばしば省略され、また動詞の人称が一人称、二人称の時も自明であるケースはほとんどの場合明示されない。こうした主語の省略現象に対応するため、(6) のように **Subject ellipsis schema** を追加した。

$$\left[\begin{array}{cc} \text{phrase} \\ \text{SUBJ} & \langle \rangle \\ \text{COMPS} & \langle \rangle \\ \text{MOD} & \langle \rangle \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{cc} \text{phrase} \\ \text{HEAD} & \text{verb} \\ \text{SUBJ} & \langle \text{sign} \rangle \\ \text{COMPS} & \langle \rangle \\ \text{MOD} & \langle \rangle \end{array} \right] \quad (6)$$

be 動詞の省略 - ゼロコピュラの分析 一般に be 動詞は連結詞 (copulative verb) として機能するが、英語口語その他でしばしば省略される。古典ギリシア語においても *εἰμι* (be) は頻繁に省略される。このような文をゼロコピュラ (zero-copula) 文と呼ぶ。特に古典ギリシア語の *εἰμι* (be) は他の動詞と少々性質が異なり、主語、補語ともに主格をとる。この現象を受容するには、他言語で行われているような主語-補語の連接規則をそのまま用いることはできない。そこで、本研究では、(7) のように **Zero copula schema** を定義した。

$$\left[\begin{array}{c} \text{HEAD} \left[\begin{array}{c} \text{verb} \\ \text{CASE} \text{ nom} \end{array} \right] \\ \text{VAL} \left[\begin{array}{c} \text{SUBJ} \langle \left[\begin{array}{c} \text{HEAD} \left[\begin{array}{c} \text{decl} \\ \text{CASE} \text{ nom} \end{array} \right] \\ \text{VAL} \left[\begin{array}{c} \text{SUBJ} \langle \rangle \\ \text{COMPS} \langle \rangle \end{array} \right] \end{array} \right] \rangle \\ \text{COMPS} \langle \rangle \end{array} \right] \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{c} \text{HEAD} \left[\begin{array}{c} \text{decl} \\ \text{CASE} \text{ nom} \end{array} \right] \\ \text{VAL} \left[\begin{array}{c} \text{SUBJ} \langle \rangle \\ \text{COMPS} \langle \rangle \end{array} \right] \end{array} \right] \quad (7)$$

この規則によって、主格の名詞もしくは形容詞が自身 be 動詞の補語となって別の主語、すなわち主格の名詞・形容詞と結びつくことが可能となる。

図 5 形容詞的性質を持つ語が補語をとる例

4.5 形容詞の処理

前述したように形容詞が名詞を修飾する場合には、名詞と形容詞の間で性・数・格の一致が起きるだけでなく、他にもいくつかの特有の性質を持つ。

形容詞による格支配 形容詞は修飾される名詞に格を要求する。この基本的な性質とは別に、形容詞が程度や時を表すための与格を支配することがある。例えば次の文（第 7 卷命題 21），

εἰ γὰρ μή, ἔσονται τινες τῶν A, B ἐλάχιστονες ἀριθμοὶ ἐν $\tau\tilde{\omega}$ αὐτῷ λόγῳ ὄντες τοῖς A, B

For, if not, there will be some numbers less than A, B (being) in the same ratio with A, B

において、最後に出現する強意代名詞 $\alpha\upsilon\tau\acute{\alpha}\nu$ (same) は形容詞的に使われており、「～と同じ」という意味となっている。そのため補語として与格の $\tau\omicron\iota\iota\varsigma$ A, B (with A, B) を取る。よって図5のような木構造が適切である。他にも、比較表現の場合に比較対象を属格で表現することも行われる。これもまた前置詞の性質を持っているため、形容詞の補語と考えられる。また、そうした補語となる語は形容詞から遠く離れた場所に出現することも頻繁に起こる。節境界を越えるような長距離依存 (long distance dependency) については SLASH 素性を用いて表現することとし、**Make slash schema** を (8) のように定義する。これにより形容詞は HEAD の値を

変えず, COMPS 素性の値のみを SLASH 素性に移すことになる.

$$\left[\begin{array}{ll} phrase & \\ COMPS & \langle \rangle \\ SLASH & \langle \boxed{1} \rangle \end{array} \right] \rightarrow \left[\begin{array}{ll} phrase & \\ HEAD & adjective \\ COMPS & \langle \boxed{1} \rangle \\ SLASH & \langle \rangle \end{array} \right] \quad (8)$$

形容詞と名詞の区別 古典ギリシア語では名詞と形容詞の間の区別が非常に曖昧である. 英語などでは, 動詞の主語には名詞を指定する. しかし, 古典ギリシア語では, 4.1節で述べたように, 冠詞が付いた場合にはその句は名詞として扱われる. さらに, 冠詞が存在しない場合も形容詞がそのまま名詞として用いられることも頻繁に起こりうる. 形容詞に準ずるものとして, 分詞が名詞的に扱われることもある. そこで本研究では動詞などが本来名詞を要求する位置には形容詞と名詞の共通の上位タイプである, *decl* を用いて次のような辞書記述を持つように制約を課す.

$$\left\langle \varepsilon\sigma\tau\iota\nu, \left[\begin{array}{ll} word & \\ HEAD & common\ verb \\ SUBJ & \left\langle \left[\begin{array}{ll} HEAD & decl \\ CASE & nominative \end{array} \right] \right\rangle \end{array} \right] \right\rangle$$

4.6 小辞

古典ギリシア語の小辞 (particle) は, 必ず文の要素の二番目として出現するという規則がある. そのため他の語とは出現規則が根本的に異なっている. 小辞はこの第二要素という位置を保持しつつも接続詞的な役割を持つ場合があり, これに対処するため, **Incorporate particle schema** を (9) のように定義した. ここでは小辞は PHONOLOGY 素性のみ残すようになっている.

$$\left[\begin{array}{ll} phrase & \\ PARTICLE & \langle \boxed{1} \rangle \end{array} \right] \rightarrow H \left[\begin{array}{ll} phrase & \\ PARTICLE & \langle \rangle \end{array} \right] \left[\begin{array}{ll} word & \\ PHONOLOGY & \langle \boxed{1} \rangle \\ HEAD & particle \end{array} \right] \quad (9)$$

5 解析結果

定義したスキーマ数 16, 辞書項目 1352 を持つこの文法¹⁰を, ユークリッド『原論』の 7 巻と 8 巻に対するカヴァレッジと解析時間を用いて評価した.『原論』に出現する文のうち, 表層情報からは曖昧性が高過ぎ解析を行なうことのできなかった文が 7 章に 8 文, 8 章に 7 文存

¹⁰ 単語の「種類」(同じ単語の変化形は一つの単語と数える)では,『原論』全体で 300–500 であるが, 本研究では単語の変化形をすべて辞書項目とした.

図 6 開始記号を得ることができる文の割合

在する。カヴァレッジについては解析に成功する文の中で開始記号を得ることができる文の数を用いて評価し、解析時間については解析に成功する文の一文当たりの平均解析時間を用いて評価した。実験は、athron 1800+, memory 500MB 上で行なった。実験結果を表 1 および図 6 に示す。解析時間、カヴァレッジともに、7 章と 8 章の間に非常に差が見られる。解析時間に

表 1 本研究の文法による解析結果

	文数	解析に成功する 文の割合 (%)	開始記号を 得ることができる 文の割合 (%)	解析時間 (sec)
Book 7	673	97.5	85.9	3.531
Book 8	481	96.3	69.4	6.665

については、8 章には格支配を行なうことがある形容詞が多数出現し、結果として曖昧さを増大させたためである。また特殊な言い回しが繰返し出現し、本研究で対応仕切れなかった部分が多かったと言える。

8 章については開始記号を得ることができない文が目立った。開始記号を得ることができないにも関わらず解析に成功してしまう主な原因は、後方からの同格関係の制約が緩すぎることにある。しかしながら、表層的には格の一致以外に参考にできる情報は存在しないため、現状からの急な改善は困難である。

特に曖昧性の増大の一因と考えられる Subject ellipsis schema (6) と Post-adjective schema (5) について、その有効性を計るために (a) 両方を削除した文法、(b) 後方からの修飾規則のみ

削除した文法, (c) 全ての文法規則を含む文法についてカヴァレッジを比較した. 結果を図 6 に示す. (a) と (b), (b) と (c) の間でそれぞれおよそ 7 章, 8 章に対しても 10% 前後増加した. このことから, 古典ギリシア語の解析に関してはこれらのスキーマは必要であると考えられる.

次に, 語の数による解析時間についての考察を述べる. 一文あたりの語数の分布は表 2 のとおりである. 語数が 41 語以上のものは数が非常に少なくデータとしてまれなため, それらを省き, 文あたりの語数毎の解析時間を計測した結果を図 7 に示す. 5 語以下のものは特定の表

表 2 一文当たりの単語数の分布

単語数	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-
文数	187	239	283	142	101	76	48	30	18

図 7 一文当たりの解析時間

現であり, 適用される規則が特に少ないため, 解析時間が非常に短い. 6 語から 20 語のものが中心的な文であり, この程度ならば解析時間には問題はないと考えられる. 20 語程度の文から解析時間が跳ね上がっている. これは, 『原論』の記述方法において, 文脈から従属文と主節文の切れ目を判断する必要があるためであると考えられる. しかし, このような切れ目は表層的な情報のみで判断できるものではなく, 意味情報を用いた上で判断する必要があり, 今後の課題である.

図 8 絶対属格の構文木

6 解析が困難である現象について

本節では計算機による解析の結果を踏まえて、曖昧性についての考察を行う。

絶対属格の処理 絶対属格と呼ばれる分詞の特別な用法についての処理が困難な課題になっている。

διαίρεθέντος δὲ τοῦ ΒΓ εἰς τὰς ἐν αὐτῷ μονάδας ἔσται ἑκάστη μὲν τῶν ἐν τῷ
ΒΓ μέρος τι τοῦ Α

BG be divided into the units in it, each unit of those in BG will be some part of

A

(第7巻命題4)の構文木を示すと図8のようになる。もし、これを現在の文法そのままで対応しようとする、MOD 素性を拡張し、属格の分詞の MOD 素性として文を取ることができるようにする必要がある。しかし、そうした拡張をただ行なうだけでは、文の区切りにはコンマが見られないこともあって組合せが非常に莫大な数になってしまうため、現状では対応できない¹¹。

小辞による接続 以下の文(第7巻命題9)

ἴσος δὲ ὁ μὲν ΒΗ τῷ Α, ὁ δὲ ΕΘ τῷ Δ

but BH [is] equal to A, and EQ to D

¹¹ なお、句読点は原典に由来するものではない。石碑やパピルスにわずかに残る古典ギリシア語は大文字のみで、句読点も単語の切れ目もない。ここで解析するテキストの底本である中世写本では単語は切られていて、句読点も見られるが不十分・不適切なことが多く、現代の校訂版では校訂者が句読点を補充訂正している。

図 9 小辞による対照構造

では、小辞が重要な働きをしている。小辞の機能には文と文を結ぶというものがある。しかし、ここでは単なる接続詞的というよりも対照構造をつくり出すための指標として使われている。コンマ以前の文では、まず動詞が存在しない。これには本研究で示したゼロコピュラとして考えられる。しかし、コンマ以後の部分では動詞がないばかりか、主格と与格というそれだけでは文を構成し得ない要素しか見ることができない。実際の構造を図9に示す。μεν と δε という二つの小辞があることにより対照構造を作りだし、小辞は常に2番目の要素として出現することによりこれらの物は同格であるということになる。つまり、μεν が出てきた箇所を含む構造と、δε が出てきた箇所を含む構造を重ね合わせて考える必要がある。

関係代名詞の処理 次の文 (第7巻命題7)

ὃ δὲ μέρος ἐστὶν ὁ ΑΕ τοῦ ΓΖ, τὸ αὐτὸ μέρος ὑπόκειται καὶ ὁ ΑΒ τοῦ ΓΔ

whatever part AE is of GZ, AB is also assumed to be the same part of CD

は前半の文が後半の文の μέρος (part) に関係節として係っていく構造である。しかし、ὃ 以下を関係節として見るには、後半部分にその関係節を埋め込む適切な場所がない。本来前半部分には μέρος は不要であるが、関係節が先行したため先行詞を特定する必要が生じ、この前半部に出現していると考えられる。この考え方からすれば、英語の whose のような所有格の関係代名詞として構文木は図10のようになる。しかし修飾語句が先行し被修飾句が後に続く構造を認めると、あまりにも曖昧性を増加させる結果となったため、本研究では敢えて関係節は後方から係るものだけに制限した。英語同様、図11のような先行詞が実際に先行する文もある(同じく第7巻命題7)。

図 10 関係節が先行する構文木

7 終わりに

本研究は、ユークリッド『原論』の解析を HPSG により試みた。本研究では他の言語と同様な基本的な文法規則に加えて、古典ギリシア語特有の文法規則、すなわち素性の一致によって推測される省略語や係り受け交差に対処する規則を追加した。構文解析システムは LiLFeS を使い、ユークリッドの『原論』7 巻 673 文および第 8 巻 481 文、全体で 1154 文に対して 79% を上回るカヴァレッジを得ることができた。古典ギリシア語の文法記述にあたっては、実装における無用な複雑化を避けるために次の二点の特徴を持たせた。一つは DP (determiner phrase) を設けなかったこと、もう一つは、必須項でも省略が多い特質を鑑み VALENCE 素性で必須的・随意的の区別なく結合可能性のある語を扱ったことである。

本研究では古典の解釈に主観をできるだけ取り除くために、表層に現れる情報だけから分析する方針に終始した。そのため、第 6 節で述べたように、文の意味・語の意味が周囲に依存して決まるような現象に対処するのは依然困難である。今後この問題をさらに追求し、省略や係り受けの可能性に対してさらにロバストにしようと思うならば、前後の文脈から情報の受け渡しを含む何らかのメカニズムが必要であると考えられる。さらに、文脈に依存した情報の処理からは、本研究の先にある『原論』の数学的意味の解析、すなわち焦点となる数学的概念とその移動、および推論の推移についての解析が展望されることが期待される。

- Creider, C. and Hudson, R. (forthcoming). “Case Agreement in Ancient Greek: implications for a theory of convert elements.” In Sugiyama, K. (Ed.), *Word Grammar*.
- 北野雅弘. 現代ギリシア語研究入門,
<http://www.page.sannet.ne.jp/kitanom/modgre/bakh1.html>.
- Knorr, W. R. (1996). “The Wrong Text of Euclid: On Heiberg’s Text and its Alternatives.” *Centaurus*, **38**, pp. 208–276.
- Kolliakou, D. (1998). “A Composition Approach to Modern Greek ‘Weak Form’ Possessives.” In G. Webelhuth, J.-P. K. and Kathol, A. (Eds.), *Lexical and Constructional Aspects of Linguistic Explanation*, pp. 31–46.
- Liddel and Scott (1959). *An Intermediate Greek-English Lexicon*. Oxford University.
- Makino, T., Torisawa, K., and Tsujii, J. (1998). “LiLFeS-Towards a Practical HPSG Parser.” In *COLING-ACL’98*.
- 水谷智洋 (1990). 古典ギリシア語初歩. 岩波書店.
- 中嶋健一郎, 斎藤憲, 東条敏 (2003). “HPSG を用いた古典ギリシア語文法の拡張.” 言語処理学会第 9 回年次大会発表論文集, pp. 573–576.
- Pollard, C. and Sag, I. A. (1994). *Head-Driven Phrase Structure Grammar*. The University of Chicago Press.
- Rommevaux, S., Djebbar, A., and Vitrac, B. (2001). “Remarques sur l’Histoire du Texte des Éléments d’Euclide.” *Archive for History of Exact Sciences*, **55**, pp. 221–295.
- Sag, I. A. and Wasow, T. (1999). *Syntactic Theory*. The University of Chicago Press.
- 斎藤憲 (1997). ユークリッド『原論』の成立. 東京大学出版会.
- 仙田圭介, 斎藤憲, 東条敏 (2002). “HPSG によるユークリッド『原論』の構文木の作成.” 言語処理学会第 8 回年次大会発表論文集, pp. 403–406.
- Sir Heath, T. L. (1925). *Euclid the Thirteen Books of the Elements*. Cambridge University Press.
- 田中美知太郎, 松平千秋 (1951). ギリシア語入門 改訂版. 岩波書店.

付録 本論文に現れるギリシア語単語

以下に本論文に現れるギリシア語単語の一覧を掲載する。語義は本論文に現われる例文での用法に限って説明している。名詞・形容詞・冠詞・分詞・代名詞での性・数・格の省略はそれぞれ男性・単数・主格，また動詞での法・時制・相の省略は直説法・現在・能動相である。

単語	品詞・活用	英訳	単語	品詞・活用	英訳
ἀλλήλους	相互代名・複数対格	one another	λόγῳ	名・与格	ratio
ἄρα	小	therefore	λειφθήσεται	動・未来受動三単	will be left
ἄριθμοί	名・複数	numbers	λοιπός	形	remaining
ἄριθμός	名	number	λοιποῦ	形・男中性属格	remaining
ἄριθμούς	名・複数対格	numbers	μέν	小	δέを参照
ἄρτιος	形	even (number)	μέρος	名(中)	part
αὐτό	代名(中性単数主対格)	itself	μετρεῖτω	動・命令法三単	measure
αὐτῷ	代名(男中性単数与格)	himself, itself	μετρήσει	動・未来三単	will measure
γάρ	小	for(理由を表す)	μή	副	not
δέ	小(μένと対で「一方(μέν)～他方(δέ)～」)		μονάδας	名(女)・複数対格	unit
δή	小	強調を表す(当然, 実際, …)	μονάς	名(女)	unit
διαρεθέντος	分(アオリスト)・受動・男中性単数属格	divided	ὁ	定冠	the
διαρούμενος	分・受動	divided	ὅ	関係代名詞・中性	which
δίχα	副	in two	οἱ	定冠・複数	the
δύο	数	two	ὅλος	形	whole
ἐάν	接	if	ὅλου	形・男中性属格	whole
ἐαυτοῦ	再帰代名・属格	-self	ὄντες	分・男女性複数	being
εἰ	接	if	ὅπερ	関係代名詞・中性(強意)	which
εἰς	前(対格支配)	into	ὅς	関係代名詞	which
ἐλάχιστοι	形(最上)・複数	smallest	πρό	前(属格支配)	before
ἐλάσσονες	形(比較)・男女性複数	smaller	πρός	前(対格支配)	in respect to
ἐκάστη	代名・女性	every	τά	定冠・中性複数主対格	the
ἐν	前(与格支配)	in	τάς	定冠・女性複数対格	the
ἔσονται	動・未来三複	will be	τι	不定代・中性	some
ἔσται	動・未来三単	will be	τινές	不定代・複数	some
ἐστίν	動・三単	is	τις	不定代	some
ἐστω	動・命令法三単	let be	τοῖς	定冠・複数男中性与格	the
ἔχωσιν	動・接続法三複	have	τόν	定冠・対格	the
ἴσος	形	equal	τοῦ	定冠・男中性属格	the
καί	接	and, 副 also	τούς	定冠・複数対格	the
λόγον	名・対格	ratio	τῷ	定冠・男中性与格	the
			τῶν	定冠・男女性複数属格	the
			ὕποκειται	動・受動三単	is assumed

略歴

中嶋 健一郎: 2001 年名古屋工業大学知能情報システム学科卒業，2003 年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科修士課程修了．現，東芝情報システム株式会社．

斎藤 憲: 1980 年東京大学教養学部教養学科卒業，1982 年東京大学文学部卒業，1990 年東京大学大学院理学系研究科博士課程単位取得退学．同年 9 月理学博士．1992 年千葉大学文学部行動科学科助教授．1997 年大阪府立大学総合科学部人間科学科助教授．ギリシア数学史およびルネサンス数学史の研究に従事．日本科学史学会，日本化学史学会，日本数学会，各会員．

東条 敏: 1981 年東京大学工学部計数工学科卒業，1983 年東京大学大学院工学系研究科修了．同年三菱総合研究所入社．1986–1988 年，米国カーネギー・メロン大学機械翻訳センター客員研究員．1995 年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授，2000 年同教授．1997–1998 年ドイツ・シュトゥットガルト大学客員研究員．博士 (工学)．自然言語の形式意味論，オーダーソート論理，マルチエージェントの研究に従事．情報処理学会，人工知能学会，ソフトウェア科学会，言語処理学会，認知科学会，ACL, Folli 各会員．

(2003 年 5 月 13 日 受付)

(2003 年 7 月 24 日 再受付)

(2003 年 9 月 10 日 再々受付)

(2003 年 10 月 15 日 採録)